

Egy kis kvantumfizika, és ami azon túl van...

Kétségtelen tény, hogy a természettudományos eredmények hatnak vallásos világnézetünkre, ez különösen a modern fizika kialakulása kapcsán érezhető. Mindannak ellenére, hogy a fizika segítségével nem lehet bebizonyítani pl. Isten létét, vagy nemlétét, a természettudomány eredményei számos teológiai szaklapban és fórumon megjelennek, párbeszédre készítetik a két felet. A hit Isten ajándéka – mondjuk sokszor, ám bizonyos természettudományos eredmények akarva vagy akaratlanul formálják világnézetünket.

Jelen írásomban nem szeretnék messzemenő teológiai következtetéseket levonni a fizika kapcsán, inkább ablakot szeretnék nyitni korunk egyik legizgalmasabb tudományos vívmányára, s az abból eredő teológiai, filozófiai gondolatokra.

Talán sokan egyetértenek velem abban, hogy a kvantumfizika a 20-ik század egyik legfontosabb és legizgalmasabb tudományos eredménye. Korunk mikroelektronikája, technikai civilizációnk tulajdonképpen erre épül, teljesen átalakítva az eddigi állásait védő determinisztikus világszemléletet. De lássuk, hogy miről is van szó.

1900-at tekinthetjük a kvantumfizika kezdetének, amikor is Max Planck felismerte, hogy a fény, azaz az elektromágneses mező energiája kvantált. Ez azt jelenti, hogy a mező nem folytonosan változik, mint a klasszikus fizikában, hanem diszkrét ugrásokkal. Az elektromágneses sugárzásban jól meghatározott adagokban terjed az energia, ez pedig elvezetett a foton, a fény alapvető építőelemének fogalmához.

Negyed évszázad leforgása alatt Schrödinger, Heisenberg, Bohr, Born, Pauli, Dirac és társai megalkoták a kvantummechanika szabályait. Ennek az elméletnek a segítségével rendszerbe lehet foglalni és meg lehet érteni a mikrovilág jelenségeit. Bizonyára emlékeznek középiskolás ta-

nulmányaikból az anyag építőköveire. Beszélék itt pl. a protonokról, neutronokról, elektronokról, fotonokról stb. A kvantumfizika tehát a mikrovilág leírásával foglalkozik, és kiderült, hogy az elemi részecskék egyáltalán nem viselkednek szabályszerűen, sőt e részecskéknek a megfigyelési folyamattól független viselkedéséről nem is beszélhetünk, mivel bármiféle megfigyelés az abban lejátszódó folyamatok durva megsértését jelenti. A világ hat ránk, és akár csak „szemlélődve”, mi is visszahatunk rá.

Ezenkívül feltehetően ismerős lehet Önöknek a kétréses kísérlet, amikor is a fény hullám- vagy részecsketermészetét vizsgálják. Newton óta hosszú ideig vitatkoztak arról, hogy a fénynek részecske-, vagy hullámtermeztete van-e. Newton szerint a fény részecskékből áll, de amint az később kiderült, hullámként is tud viselkedni. Mi több, erre nemcsak a fény képes, hanem az elektron, illetve a proton is, egyszóval a kvantummechanikai objektumok.

Mivel a mikrofizikai viselkedés lényegesen eltér mindennapi tapasztalatainktól, az sokak fejében zűrzavart keltett. Mi a fény valójában? – tehetjük fel a kérdést. Ha hullám, akkor hogyan lehet részecske, ha viszont részecske, akkor hogyan mutathatnak a fotonok interferenciát? Ma már elfogadott, hogy a fény egyszerre hullámként, és részecskéként is viselkedik. Innen ered a fény kettős természete elnevezés (komplementaritás-elv). Amikor terjed, akkor a hullámmal, amikor pedig energiát ad, vagy vesz fel, akkor részecskemoddellel írjuk le.

Az előbbieket egyenes következménye volt a Heisenberg-féle híres határozatlansági reláció felállítása. E szerint a természet törvényei csak akkor lehetnek ellentmondásmentesek, ha a kísérleti lehetőségeknek van valamilyen korlátja. Így egy kvantummechanikai objektum helyét és sebességét egy időben nem tudjuk teljes pontos-

sággal meghatározni, csak valószínűségi leírást tudunk alkalmazni. Nem mondhatjuk, hogy az elektronnak ismerjük a helyét és sebességét, csak azt, hogy milyen valószínűséggel van itt vagy ott. Vagy milyen valószínűséggel ekkora vagy akkora a sebessége. Ezek után már világos előttünk, hogy a kvantummechanika, bár a gyakorlatban jól működik, határozatlanságra, statisztikusságra épül. Gondoljunk például arra, hogy a radioaktív bomlás során az uránból és más elemekből teljesen véletlenszerűen, kiszámíthatatlan módon távoznak az elemi részecskék.

Ezek a felismerések komoly gondolati következményekkel járnak. A fény kettős természete előrevetíti a világ nem objektíválhatóságát. Míg a klasszikus mechanika kapcsán úgy gondoltuk, hogy a világ teljes mértékben megérthető és leírható, addig a kvantummechanika alapjaiban rázta meg a materialista-realista világszemléletet. Hiszen hiába ismerjük egy kvantumfizikai folyamatban a résztvevő részecskék kezdeti állapotát, nem tudjuk előre meghatározni a részecskék jövőbeli viselkedését, csak a különböző állapotok valószínűségét tudjuk megadni.

Továbbmenően ma már egyre inkább elfogadott az a nézet, miszerint a természetet alapvetően a kvantummechanika írja le, így a klasszikus fizika világa egy, a gyakorlatban jól bevált, de csak közelítően érvényes idealizálás, határeset lehet. Vagyis végső soron egyfajta illúzió. Sőt, makroszkopikus rendszerek vizsgálatánál a kaoszelmélet olyan kaotikus jelenségeket ír le, amelyeknél bár ismerjük a kezdeti feltételeket, nem tudjuk megjósolni a jövőbeni állapotot. Csak három szabadsági foknál kisebb, valamint lineáris összefüggést mutató rendszerek esetén tudunk pontos jósolatokba bocsátkozni.

Innentől kezdve adottak a teológiai feltevések. Ezek szerint a világ nem lezárt, abszolút törvények által előre

meghatározott, hanem nyitott. Isten megalkotta ugyan a világot, de azt nem zárta le, nem hagyta magára, hogy az előre elrendelve működjön, hanem folyamatosan beavatkozik annak működésébe. Teller Ede szavait idézve: „Azt tudom, ha Isten létezik a kvantumteóriában, nem munkanélküli. Az ok nem határozza meg egyértelműen a jövőt. És ez távolról sem üres állítás.”

A kvantumfizika sok esetben segédeszköz lett teológiai állítások modellezésére. Gondolhatunk a szabad akarat kérdésére, vagy a komplementaritás elve kapcsán Jézus egy személyben ember és Isten mibenlétének szemléltetésére. A mikrorészecskék „életében” bár nagyon ritkán, a statisztika szerint mégis előfordulhatnak rendkívüli állapotok – ez például alkalmas a csodák szemléltetésére.

A kvantumelmélet jelenleg kétségtelenül leírja azt, ahogyan a világ, a természet működik. Annak ellenére, hogy a tapasztalt jelenségek nincsenek összhangban előzetes várakozásainkkal és gondolatainkkal, a világ bizonyosan így működik. Ám ez nem mindig volt így. Maga Albert Einstein, aki tevőleges szerepet vállalt a kvantumfizika kialakulásában (1905-ös foton-elméletéért kapott Nobel-díjat), bár elfogadta a kvantummechanika létjogosultságát, valamint gyakorlati hasznát, annak egyes állításáival élete végéig sem tudott egyetérteni. Említettem, hogy a határozatlansági relációban szereplő hely és sebesség komplementerek, egymást kiegészítik, együtt adják a kvantum-bizonytalanságot. Einstein meg volt győződve arról, hogy a Heisenberg-féle határozatlansági reláció ellenére egy adott részecskének igenis van határozott helye és impulzusa, más kérdés, hogy ezt nem tudjuk egyszerre meghatározni. A kvantummechanika ezek szerint nem teljes, a dolgok mélyén lennie kell egy „óraszervezetnek”, amely a világot működteti. A kvantum-bizonytalanság és a statisztikus jelleg kapcsán ismerjük elhíresült mondását: „Isten nem vet kockát!” Bohrral való vitái

kapcsán képtelen volt elfogadni az eredendő bizonytalanság és a szigorú okság hiányát. Választania kellett az objektívnek hitt világ, vagy a kvantumvilág között.

Napjaink egyik legizgalmasabb és lenyűgözőbb természettudományi problémája Einsteinhez nyúlik vissza. Ő akarva-akaratlanul nagy segítséget nyújtott a kvantumfizika állításainak igazolásához. Hogy Bohr és a kvantumfizika állításait megcáfolja, két társával együtt felállított egy gondolat kísérletet, és cikke („Teljesnek tekinthetjük-e a kvantummechanika leírását a fizikai realitásról?”, 1935) EPR paradoxon néven vált ismertté. A kvantumfizika törvényei segítségével kimutatták, hogy két, közös forrásból származó részecske egymástól messze eltávolodva is erős kapcsolatot, összefonódást mutat. Ha az egyik részecskén mérést hajtunk végre, bár az tisztán véletlenszerű eredményt szolgáltat, mégis egyidejűleg meghatározza a másik részecske kvantumállapotát, függetlenül attól, hogy a két részecske milyen messze, térben mennyire elkülönítve van egymástól. Ezt az általa „kísérteties távolhatásnak” nevezett jelenséget Einstein élete végéig nem volt hajlandó elfogadni.

Bár David Bohm e gondolat kísérlet egy újabb, gyakorlatias változatát vezette be a köztudatba, az 1960-as évekig senki sem foglalkozott komolyan azzal, hogy ténylegesen végrehajtott kísérlettel ellenőrizze a kvantumelmélet jóslatait. Az igazi áttörést egy, a CERN-ben dolgozó fizikusnak köszönhetjük. John Bell 1964-ben jelentette meg híres, egyenlőtlenségről szóló cikkét, amelyet a technika fejlődésével a későbbiekben több alkalommal is kísérletekkel ellenőriztek.

Az EPR paradoxon, valamint a Bell-egyenlőtlenség részletes bemutatása nem fér ezen írás keretei közé, ám aki ugyan nehéz, de izgalmas szellemi kalandban szeretne részt venni, az a világhálón már magyarul is találhat erről némi információt. A lényeg az, hogy a világon már több helyen bebizonyították, hogy a kísérteties tá-

volhatás igencsak létezik. Tudomás szerint innsbrucki kutatók már 20 km-re el tudtak távolítani két foton, amelyek között szoros kapcsolat állt fenn. Ha az egyiknek megmérték a polarizációját, a másik állapota ugyanabban az időpontban megváltozott. A közös kvantummechanikai hullámfüggvény összeomlott, és mindkettő beugrott saját állapotába.

E gondolat azért is rettentette meg Einsteint, mert ennek értelmében a kommunikációnak a fénysebességnél gyorsabban kell végbemennie. Tudjuk, hogy relativitáselmélete a fénysebességre, mint legnagyobb sebességre épült. S bár relativitáselmélete ettől még nem omlott össze, e kísérlet ismét megerősítette a kvantummechanika bizarr világát.

A kvantumos összefonódás jelenségére immár gyakorlati eljárások is épültek. A feltörhetetlen kvantumtitkosítás már kereskedelmi forgalomban van, a kvantumszámítógép kezdeti kísérleti fázisát éli.

Ami minket most igazából érdekel, az a világnézeti háttér. A kísérlet tapasztalata alapján a hatás és ok lokálisan, helyileg egymáshoz kapcsolódik, kauzálisan nem értelmezhető összefüggéssel állunk szemben. A Bell-egyenlőtlenség tehát a kauzalitás abszolút érvényét ingatja meg, mely kauzalitás a világról alkotott képünk legalapvetőbb fogalma. Ugyanakkor ebből eredeztethető a holisztikus világszemlélet (minden mindennel összefügg) térhódítása.

Végezetül, mi emberek a világ-egyetemnek csak egy nagyon vékony szeletét vizsgáljuk, és azt sem tudjuk mindennapi fogalmainkkal, realiztikusan leírni. A kvantummechanika a természet működését írja le, és bármennyire furcsa is, ez a „realitás” számunkra. Csodálkozunk hát rá e világ sokszínűségére, és ha fogékonyak vagyunk rá, hagyjuk, hogy megérintsen.

Máté Ernő